西北林学院学报 2018,33(2):62-69
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2018.02.10

8个矮牵牛品种抗旱性综合评价分析

关春景,焦孟月,张彦妮*

(东北林业大学 园林学院,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘　要:以常用的8种绿化地被矮牵牛(*Petunia hybrida*)品种为材料,在盆栽条件下测定8个品种不同水分梯度下植株的净光合速率、蒸腾速率、水分利用率、相对含水量、叶绿素含量、超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶等生理指标的变化,同时观察其形态变化。之后利用隶属函数对8个品种耐旱性进行综合评价。结果表明,随着干旱程度的增加各个品种开花率、花径大小、植株高度、净光合速率、蒸腾速率、相对含水量和叶绿素含量均呈逐渐降低的趋势;水分利用率出现先增加后降低的趋势,SOD、POD和CAT酶活性、丙二醛含量和可溶性蛋白含量逐渐升高。根据隶属函数值比较8个品种矮牵牛的抗旱性大小,依次为3号>6号>4号>2号>5号>1号>8号>7号。这为矮牵牛抗旱的筛选提供参考,为抗旱育种和园林应用提理论依据。

关键词:矮牵牛;生理指标;抗旱性评价;隶属函数

中图分类号:S718.3　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1001-7461(2018)02-0062-08

Comprehensive Evaluation and Analysis of Drought Resistance of 8 *Petunia* Cultivars

GUAN Chun-jing, JIAO Meng-yue, ZHANG Yan-ni*

(*College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang* 150040, *China*)

Abstract: The drought resistance of 8 varieties of *Petunia hybrida* was studied under the simulated drought conditions. Physiological indexes were measured, such as net photosynthetic rate, transpiration rate, water use efficiency, the content of relative water, chlorophyll, malondialdehyde, soluble protein, the activities of superoxide dismutase, peroxidase and catalase in the leaves. Combined with morphological indicators, the comprehensive evaluation on drought resistance was conducted by subordinate function. The results showed that the flowering rate, flower diameter, plant height, net photosynthetic rate, transpiration rate and the content of relative water, chlorophyll decreased with the decrease of soil relative water content, water use efficiency increased first and then decreased. The activities of superoxide dismutase, peroxidase and catalase increased. By subordinate function analysis, it was concluded that the drought resistance of 8 varieties decreased in the order of 3> 6> 4> 2> 5> 1> 8> 7. These results would provide reference for the application of 8 *P. hybrida* cultivars, and lay the foundation for drought resistant breeding of *P. hybrida*.

Key words: *Petunia hybrida*; physiological index; drought resistance evaluation; membership function

矮牵牛(*Petunia hybrida*)属于茄科(Solanaceae)矮牵牛属(*Petunia*)多年生草本花卉,常作一二年生栽培,其原产于南美温带地区,有较高商业和观赏价值。矮牵牛品种繁多、花色丰富、环境适应能力强,在世界范围内被广泛栽培用于美化环境[1]。目前有研究发现,高温条件会影响矮牵牛的花量、株高、冠幅及结实等形态及生长特征,同时其各项生理指标也发生变化[2]。在盐渍干旱条件下矮牵牛叶的表皮腺毛浓密且角质层增厚,可以作为耐盐植物的选育种[3]。在寒冷条件下矮牵牛通过积累花青素和

收稿日期:2017-07-17　**修回日期**:2017-10-18
基金项目:黑龙江省留学归国基金项目(LC201410)。
作者简介:关春景,女,在读硕士,研究方向:园林植物种质资源。E-mail:1144525908@qq.com
* **通信作者**:张彦妮,女,副教授,博士,研究方向:园林植物种质资源。E-mail:ynzhang808@126.com

渗透调节物质抵御低温胁迫[4]。在镉（Cd）胁迫条件下，矮牵牛具有较强的抗氧化损伤能力[5]。

近些年，全球干旱日趋明显，水资源短缺加剧，社会各界大力倡导节约型园林，因此，选择节水型绿化植物显得尤为重要。矮牵牛作为园林常用的观赏花卉，对水分条件的适应能力早有研究，但对不同品种间抗旱性差异的研究较少。本研究对 8 种不同品种矮牵牛植株的抗旱能力进行综合评价，对矮牵牛品种在干旱条件下的应用提供参考，从中筛选抗旱性较强的矮牵牛品种，为矮牵牛在园林上的应用提供依据。

1　材料与方法

1.1　材料

8 个矮牵牛品种（均为常用的绿化地被品种）的种子（4 ℃保存）见表 1。

表 1　材料编号及品种

Table 1　Numbers and cultivars

品种编号	品种（系）名	花色	产品批号
1	‘梅林’（‘Merlin’）	粉红色	050151042301
2	‘水中花’（‘Sonja’）	玫红色	090555
3	‘仙境’（‘Linbo’）	桃红色	20095318.0010
4	‘极美’（‘Ultra’）	红色	10708886
5	‘依格’（‘Eagle’）	柔粉色	439019(P8194C)
6	‘豪放’（‘Bold’）	红色	2019189701
7	‘虹彩’	红色	PET720S
8	‘梅林’（‘Merlin’）	蓝色	381376(M5293A)

注：材料来自厦门爱垦园艺及虹越园艺有限公司。

1.2　试验设计及处理

采用穴盘播种育苗的方法进行播种育苗。待幼苗长至 5～6 片真叶时，选择生长整齐健壮的幼苗移植于 8 cm×8 cm（口径×高度）的营养钵中，每钵 1 株。栽培土壤为过筛园土∶育苗基质＝1∶1，每钵土量为 150 g，之后进行常规养护管理。

初花期（移栽后 60 d）进行干旱胁迫处理。采用称重法控水处理，以田间最大持水量的百分含量设置 4 个水分处理梯度：85％～90％对照（CK）、65％～70％轻度胁迫（LD）、45％～50％中度胁迫（MD）、25％～30％重度胁迫（HD）。每天 16:30 称重控制水分，每个处理 3 次重复，每重复 10 盆幼苗。干旱胁迫时间至 15 d，测定相关形态指标。选择形态学顶端自上而下第 3～5 片完全展开叶取样，以新鲜叶片测定叶片相对含水量（RWC），其他叶片保存于 −80℃冰箱用于测定叶绿素含量（CHL）、超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）、过氧化氢酶（CAT）活性、丙二醛（MDA）含量和可溶性蛋白质含量等生理指标。胁迫至 20 d 测定净光合速率、蒸腾速率及水分利用率等光合特性。

1.3　试验指标的测定

1.3.1　植株形态指标及叶片相对含水量测定　统计测定每种矮牵牛品种在不同胁迫下的开花率（％）、花径（cm）及株高（cm）。采用饱和含水量法测定叶片相对含水量，新鲜叶片于蒸馏水浸泡 8 h，称量饱和叶片质量，置于 100℃烘箱 72 h 烘至恒重。

计算叶片相对含水量：

$$RWC/\% = (F_W - D_W)/(T_W - D_W) \times 100 \qquad (1)$$

式中，F_W 为新鲜叶片质量；T_W 为饱和叶片质量；D_W 为烘干叶片质量。

1.3.2　植株生理指标测定　采用 LI-6400 便携式光合仪（LICOR Inc，USA）测定光合作用相关生理因子。测量于 9:00－11:00 进行，选取形态学顶端自上而下第 3～5 片完全展开且生长良好大小相近的叶片，测定时温度设为 25℃，相对湿度为 60％，光合有效辐射为 1 200 μmol·m^{-2}·s^{-1}，CO_2 浓度 380 μmol·mol^{-1}（使用 CO_2 小钢瓶）。每组测定 3 片叶子，每次测量重复记录 5 组数据，计算平均值。

测定指标：叶片净光合速率（P_n，μmol·m^{-2}·s^{-1}）、蒸腾速率（T_r，μmol·m^{-2}·s^{-1}）、水分利用率（WUE）

$$WUE = P_n/T_r \qquad (2)$$

CHL、SOD、POD、CAT、MDA 及可溶性蛋白含量等各生理指标参考李合生[6]测定方法。

1.4　数据处理

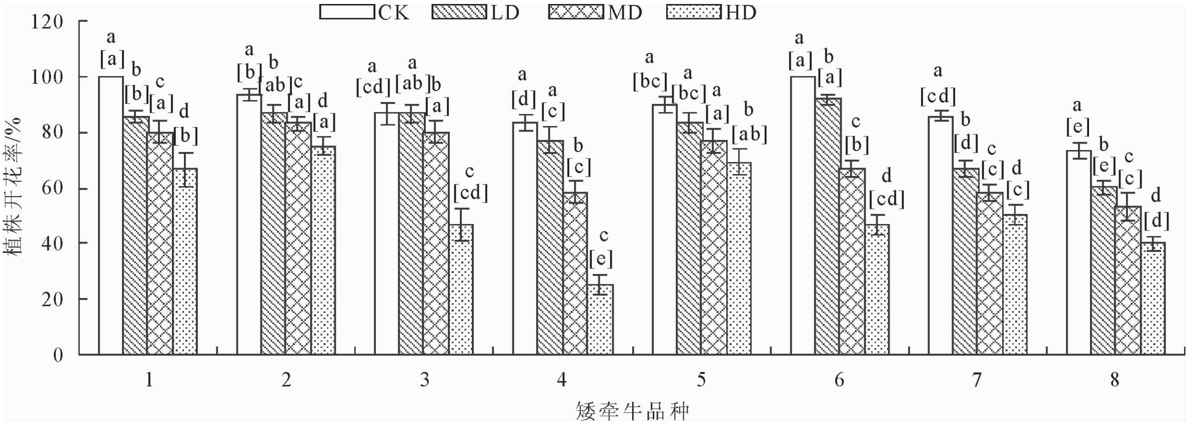
应用 Excel 及 SPSS19.0 对试验数据进行整理分析并制图。采用最小显著性差异法（LSD）分析比较各品种胁迫处理间的差异性，采用 Pearson 相关系数法评价各指标的相关性。利用隶属函数公式对试验原始数据进行定量转换，评价各品种的抗旱性强弱。

2　结果与分析

2.1　干旱胁迫对不同品种矮牵牛植株形态的影响

2.1.1　对开花率的影响　花量是决定花卉观赏价值的重要指标，随着胁迫程度的升高，各品种的开花率整体呈现下降趋势（图 1）。正常水分条件下，1 号及 6 号品种的开花率均达到 100％，轻度胁迫下 6 号品种开花率显著（$P<0.05$）高于其他品种，中度和重度胁迫下 2 号品种开花率显著（$P<0.05$）高于其他品种。

2.1.2　对花径的影响　随着胁迫程度的增强，矮牵牛花径大小呈降低趋势（图 2、图 3）。在正常水分条件至中度干旱胁迫条件下 6 号品种花径下降幅度较



注：括号内字母表示品种间的差异性，括号外表示水分梯度间的差异性。下同。

图1 干旱胁迫对不同品种矮牵牛开花率的影响

Fig. 1 Flowering rate of different *Petunia* cultivars under different drought stress levels

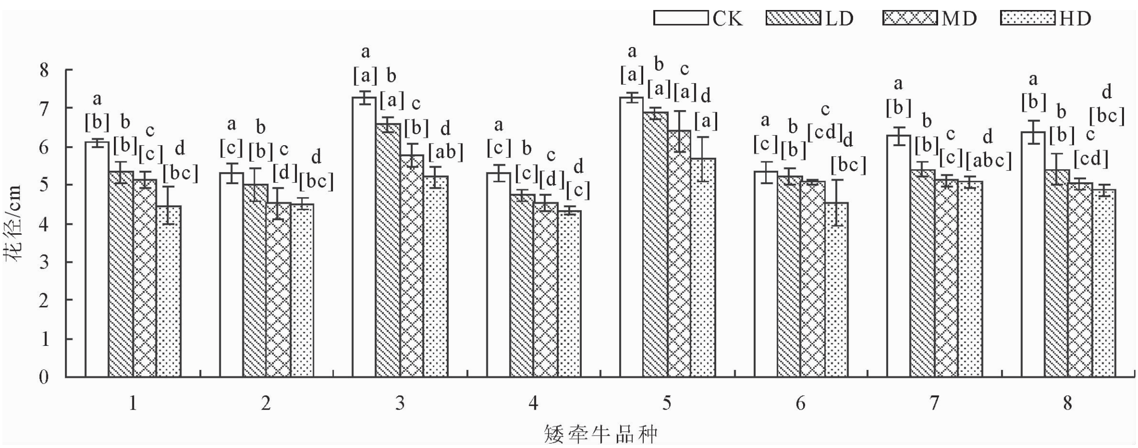


图2 干旱胁迫对不同品种矮牵牛花径大小的影响

Fig. 2 Flowering diameter of different *Petunia* cultivars under different drought stress levels

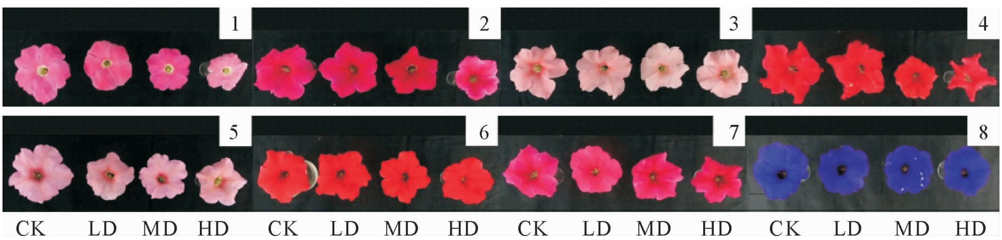


图3 不同干旱条件下各品种矮牵牛花径大小

Fig. 3 Flower size of *Petunia* cultivars under different drought conditions

小，在轻度至重度胁迫条件下4号、7号品种下降幅度较小。正常水分条件下与干旱胁迫条件下5号品种花径都显著高($P<0.05$)于其他品种。

2.1.3 对株高的影响 正常水分条件下，各品种矮牵牛株高存在差异，1、3、5号品种株高为8～9 cm，其余品种株高为13～16 cm。随着水分的减少，各品种株高出现不同程度的下降(图4)，植株较矮的品种株高下降幅度较小(图5)，表明株型较高的品种对干旱胁迫更敏感。轻度胁迫条件下，3号品种株高较对照未产生显著变化。1号和5号品种在轻度至重度胁迫条件下株高变化不显著。

2.2 干旱胁迫对不同品种矮牵牛植株生理指标的影响

2.2.1 对光合特性的影响 各矮牵牛品种随着干旱胁迫程度的加重，净光合速率及蒸腾速率均有下降趋势，且不同胁迫下数据差异显著(图6、图7)。正常水分条件下7号品种净光合速率显著($P<0.05$)高于其他品种；在干旱胁迫条件下，7号品种

净光合速率下降幅度较大。6 号品种在轻度和中度胁迫下净光合速率下降幅度较小,在重度干旱条件下各个品种净光合速率均显著下降。4 号和 5 号在正常水分条件下蒸腾速率显著($P<0.05$)高于其他品种,在干旱条件下这 2 个品种净光合速率下降幅度明显。8 号品种在轻度至重度干旱条件下蒸腾速率下降幅度小于其他品种。

随着水分的减少,各个品种水分利用率呈先增高后降低的趋势,轻度胁迫条件下升高,重度胁迫条件下大幅下降(图 8)。中度胁迫下,6、7、8 号品种 WUE 低于对照,其他品种仍高于对照。在重度胁迫 1 号品种水分利用率下降幅度最小。

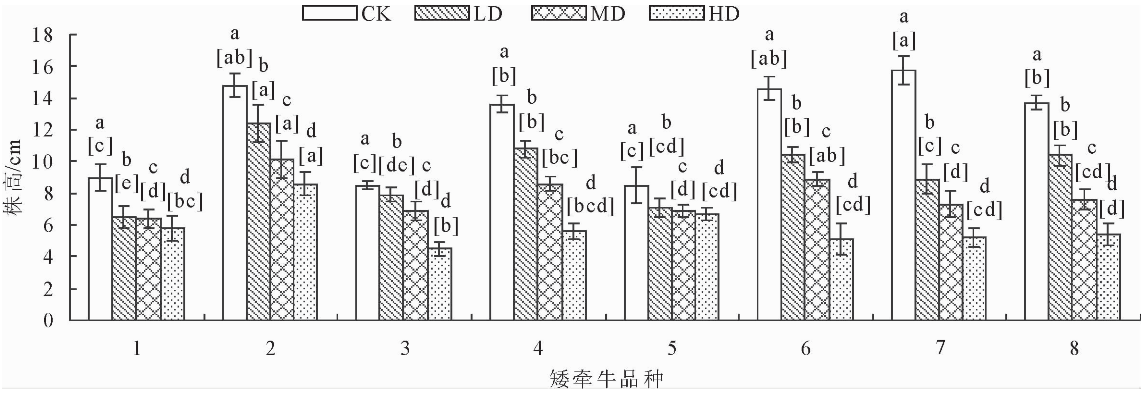


图 4　干旱胁迫对不同品种矮牵牛株高的影响

Fig. 4　Plant height of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

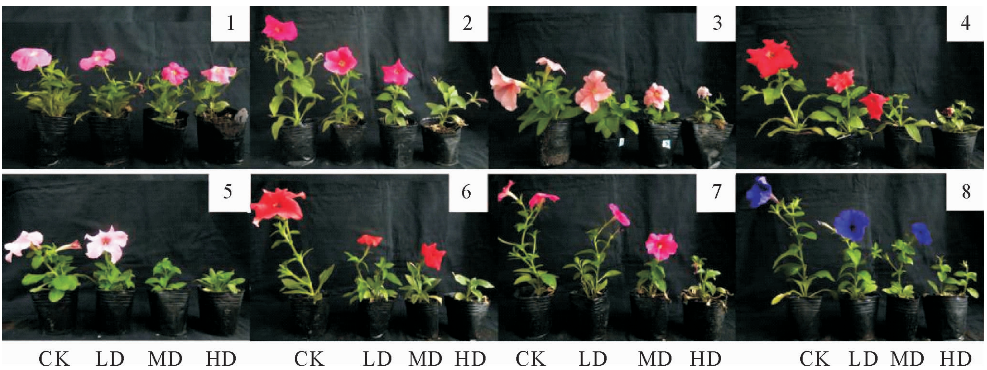


图 5　不同胁迫条件下各品种矮牵牛株高

Fig. 5　Plant height of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

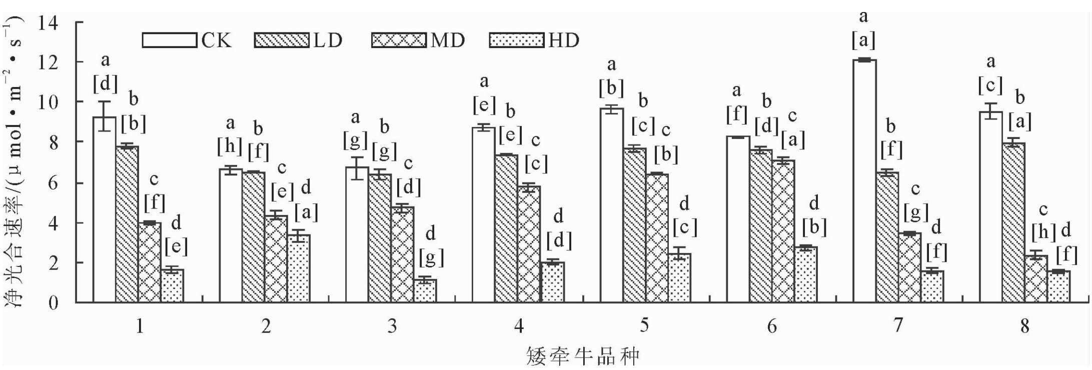


图 6　干旱胁迫对不同品种矮牵牛净光合速率的影响

Fig. 6　Net photosynthetic rate of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

2.2.2　对叶片相对含水量的影响　正常水分条件下,各品种叶片相对含水量差异不显著。随着土壤水分胁迫加剧,矮牵牛各品种叶片相对含水量逐渐下降(图 9)。轻度胁迫下,2 号和 4 号品种叶片相对含水量显著($P<0.05$)高于其他品种。在轻度至重度胁迫下,7 号品种叶片相对含水量下降幅度较小,表明 7 号品种的叶片具有很好的保水性;而 3 号品种的叶片相对含水量都显著($P<0.05$)低于其他品种的叶片相对含水量。

2.2.3　对叶绿素含量的影响　正常田间持水量条

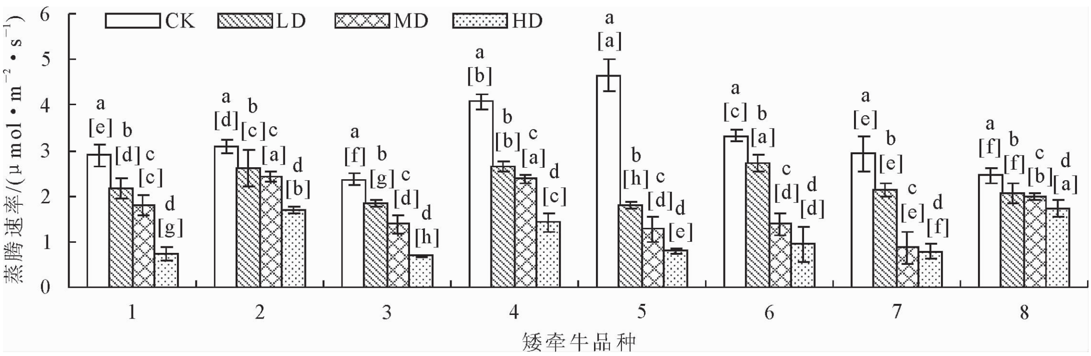


图 7 干旱胁迫对不同品种矮牵牛蒸腾速率的影响

Fig. 7 Transpiration rate of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

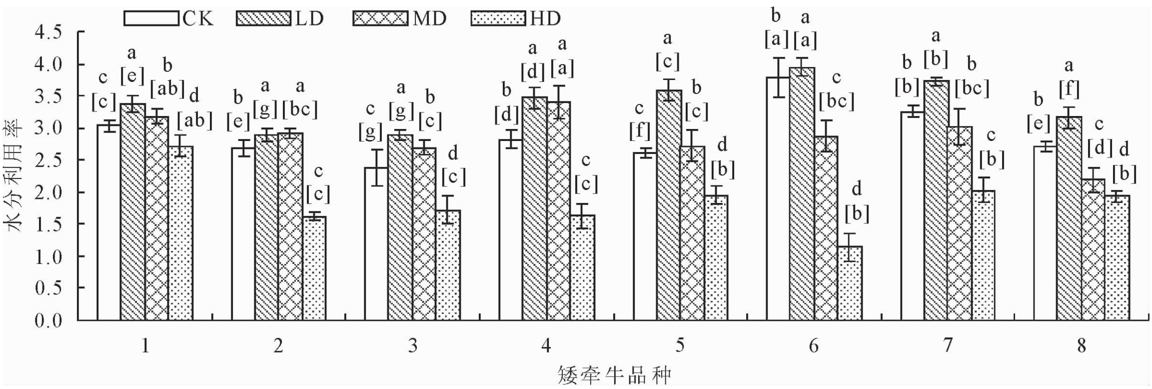


图 8 干旱胁迫对不同品种矮牵牛水分利用率的影响

Fig. 8 Water use efficiency of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

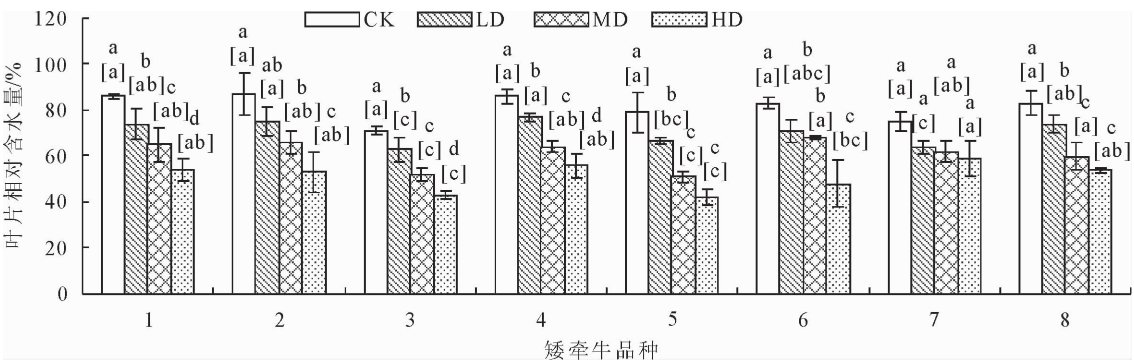


图 9 干旱胁迫对不同品种矮牵牛叶片相对含水量的影响

Fig. 9 Leaf relative water content of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

件下，不同品种叶绿素含量存在明显差异，随着土壤水分的减少，不同品种叶绿素含量表现出不同程度的下降趋势(图 10)。正常水分和轻度胁迫条件下，3 号品种叶绿素含量显著($P<0.05$)高于其他品种，中度和重度胁迫条件下 4 号品种叶绿素含量显著($P<0.05$)高于其他品种。

2.2.4 对植株酶活性的影响　随着干旱程度的增强，SOD、POD、CAT 等酶的活性均呈逐渐升高的趋势(图 11～图 13)。在旱胁迫条件下，1 号品种 SOD 和 POD 活性显著($P<0.05$)高于其他品种，8 号品种 CAT 活性显著($P<0.05$)高于其他品种。重度胁迫条件下，3 号品种 POD 酶活性呈现大幅升高，其他胁迫条件下升高幅度较小；3 号和 8 号品种 CAT 含量显著($P<0.05$)高于其他品种；3、4、6 号品种 CAT 酶活性升高幅度较大。

2.2.5 对丙二醛含量的影响　随着干旱胁迫程度的升高，各品种 MDA 含量呈升高趋势(图 14)。轻度胁迫条件下，7 号和 8 号品种的 MDA 含量显著($P<0.05$)高于其他品种。3 号品种在重度胁迫条件下 MDA 含量大幅升高，其他胁迫条件增长幅度较小，表明重度胁迫下 3 号品种质膜受损程度较其他品种严重。

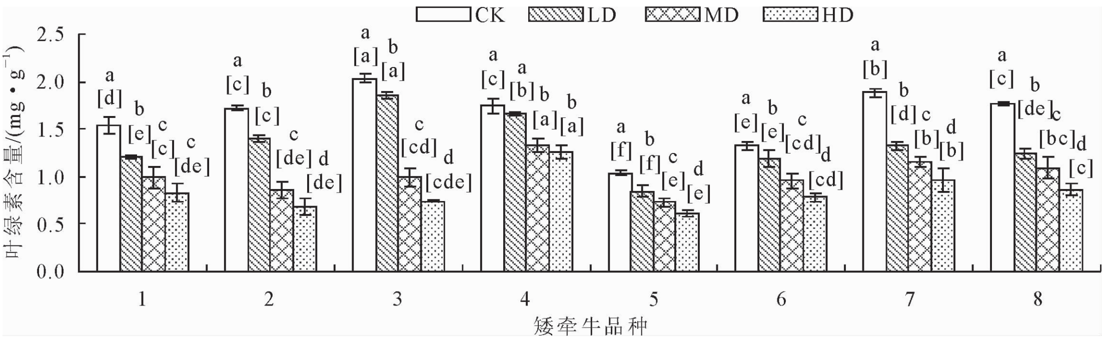


图 10　干旱胁迫对不同品种矮牵牛叶绿素含量的影响

Fig. 10　Chlorophyll content of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

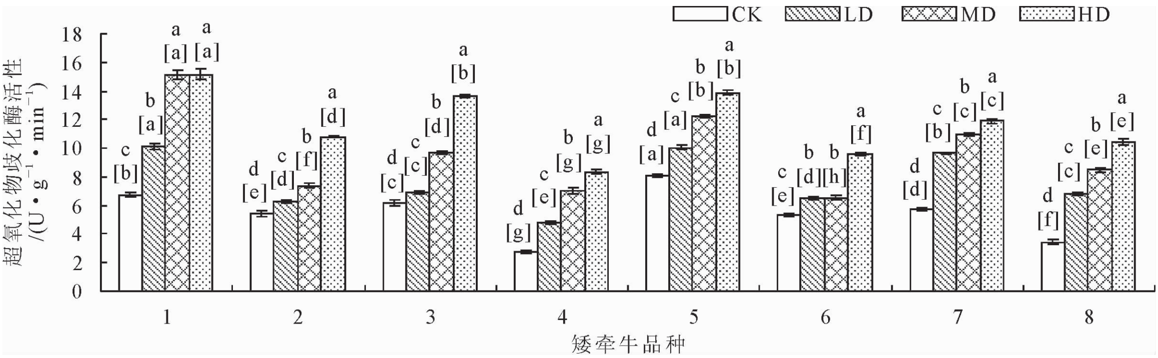


图 11　干旱胁迫对不同品种矮牵牛 SOD 活性的影响

Fig. 11　SOD activity of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

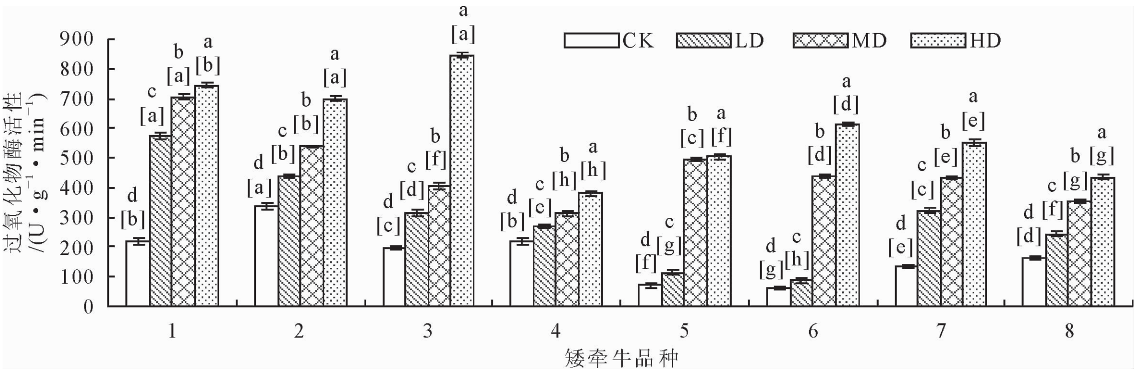


图 12　干旱胁迫对不同品种矮牵牛 POD 活性的影响

Fig. 12　POD activity of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

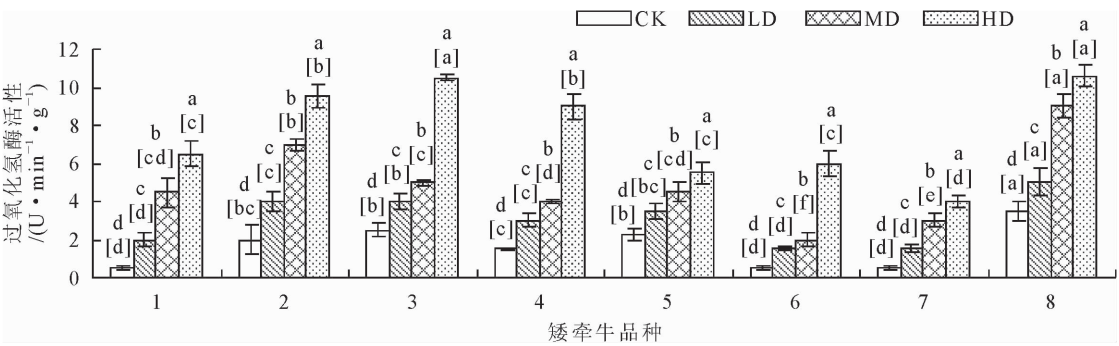


图 13　干旱胁迫对不同品种矮牵牛 CAT 活性的影响

Fig. 13　CAT activity of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

2.2.6　对可溶性蛋白含量的影响　随着干旱程度不断增加，植物体内可溶性蛋白含量逐渐升高(图 15)，表明矮牵牛通过增加可溶性蛋白的含量以适应干旱条件。中度和重度胁迫下，4 号和 8 号品种可溶性蛋白显著($P<0.05$)高于其他品种。3 号品种从中度至重度胁迫条件下可溶性蛋白含量增加幅度

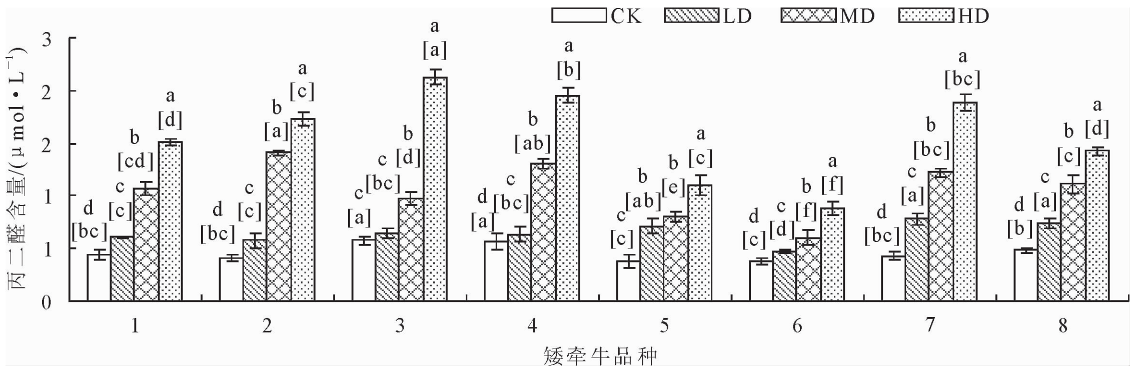


图 14 干旱胁迫对不同品种矮牵牛丙二醛含量的影响

Fig. 14 MDA content of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

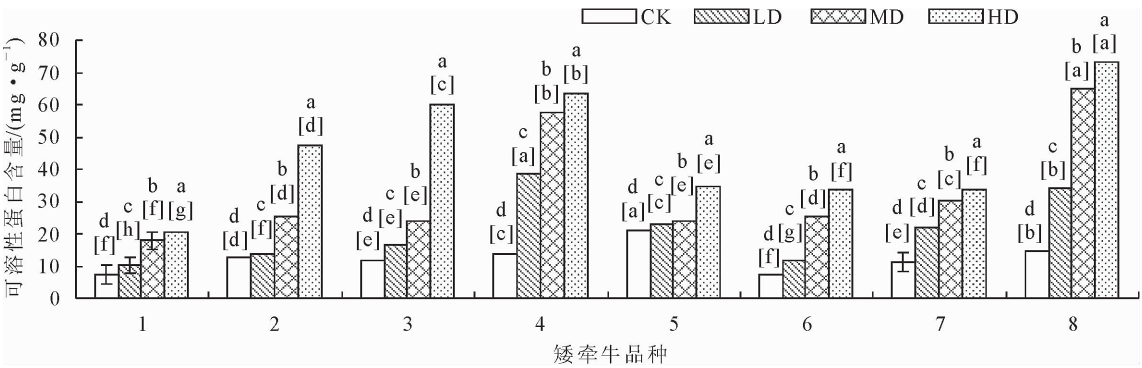


图 15 干旱胁迫对不同品种矮牵牛可溶性蛋白含量的影响

Fig. 15 Soluble protein content of different *Petunia* cultivars under drought stress levels

较大。1、5、6、7 号品种可溶性蛋白含量较对照小幅增加，表明干旱胁迫对这几个矮牵牛品种影响较小。

2.3 矮牵牛品种抗旱性隶属函数分析

植物的耐旱性可以通过外部形态和内部生理变化等不同的方式来表现，因此，评价植物耐旱性应该从多个指标的变化来综合分析，从而弥补单个指标对植物耐旱性评价的片面性[7]。以 4 种胁迫下矮牵牛不同品种的形态变化及生理指标的平均值进行隶属函数处理，对平均隶属函数值比较排序，得出 8 个矮牵牛品种抗旱性强弱依次为 3 号>6 号>4 号>2 号>5 号>1 号>8 号>7 号(表 2)。

表 2 矮牵牛各品种抗旱性隶属函数值

Table 2 The membership function value of *Petunia* cultivars drought resistance

品种编号	1	2	3	4	5	6	7	8
开花率	0.492 9	0.522 7	0.708 3	0.615 4	0.512 3	0.554 7	0.425 0	0.500 0
花径	0.483 1	0.415 6	0.484 3	0.404 6	0.551 6	0.637 5	0.331 3	0.365 0
株高	0.351 6	0.463 7	0.612 5	0.506 3	0.333 3	0.489 5	0.388 1	0.466 9
光合速率	0.527 5	0.566 1	0.646 5	0.588 2	0.567 7	0.664 7	0.411 8	0.475 4
蒸腾速率	0.541 7	0.548 6	0.525 3	0.455 5	0.346 1	0.483 2	0.418 6	0.455 5
水分利用率	0.541 7	0.703 5	0.596 2	0.650 8	0.466 5	0.638 8	0.575 0	0.459 0
叶片相对含水量	0.492 2	0.507 4	0.508 9	0.491 7	0.479 7	0.557 1	0.375 0	0.474 1
叶绿素含量	0.436 6	0.466 3	0.513 6	0.494 8	0.446 4	0.523 1	0.399 5	0.419 4
过氧化物酶	0.351 2	0.543 1	0.624 0	0.523 1	0.481 2	0.569 0	0.458 1	0.502 3
超氧化物歧化酶	0.400 8	0.616 7	0.607 5	0.465 6	0.487 0	0.610 2	0.375 8	0.450 7
过氧化氢酶	0.520 8	0.516 7	0.625 0	0.616 7	0.484 4	0.636 4	0.500 0	0.503 5
丙二醛含量	0.563 1	0.528 4	0.675 8	0.604 3	0.489 6	0.595 0	0.515 8	0.554 8
可溶性蛋白含量	0.492 8	0.652 8	0.659 2	0.406 3	0.655 7	0.541 0	0.413 8	0.452 7
平均隶属函数值	0.464 7	0.516 2	0.600 0	0.519 2	0.478 1	0.571 2	0.412 9	0.459 4
排序	6	4	1	3	5	2	8	7

3　结论与讨论

适宜的水分条件是确保矮牵牛具有较高观赏价值的条件之一,花芽分化前期,适当的干旱使植物体内的 C/N 及激素含量发生变化,促进花芽分化,增加花量[8-9]。本研究中随着土壤相对含水量的减少,矮牵牛开花率及花径大小呈下降趋势,且随胁迫程度升高,表现出花色加深、花瓣不硬挺、花期变短、加速衰老等性状。大量研究证明,株高对水分条件十分敏感,本研究发现高株型植物对水分更加敏感,株高下降幅度大。

光合作用是植物重要的代谢过程,可以为植物生长提供同化物和能量。干旱打破光能捕获和利用的能量平衡,进而影响光合活性[25],植物在干旱条件下光合速率会降低,而降低的幅度取决于干旱的程度和植物本身的耐旱能力[10-12]。本研究中,8 个品种的净光合速率、蒸腾速率和叶绿素含量均呈现逐渐降低的趋势,不同品种下降幅度不同。在重度干旱胁迫下各品种植株叶片净光合速率、蒸腾速率与对照存在极显著差异。干旱条件下,植物体通过减少自身蒸腾作用来保持水分平衡。本研究中,8 号品种在轻度干旱胁迫下净光合速率显著高于其他品种,同时保持较低的蒸腾速率。6 号品种在中度胁迫时维持了较高的净光合速率和较低的蒸腾速率。进一步说明了蒸腾速率一定程度上反应植物调节水分损失的能力,抗旱性较好的能够维持较高的光合速率和较低蒸腾速率[13]。

水分利用效率是评价植物对环境适应的生理生态指标,也是衡量植物体生长发育所需水分供应的重要指标[14]。本研究中,8 个品种的水分利用效率呈现先增加后降低的趋势,在轻度和中度干旱胁迫时增加,重度干旱胁迫时下降,说明适度的干旱有利于提高水分利用效率。其中 1～5 号品种在中度干旱时水分利用率虽然有所下降,但仍高于对照,说明这几个品种有较强的维持细胞膨压的能力从而有较高的耐旱性,而其他 3 个品种维持细胞膨压的能力和耐旱性相对较弱。

干旱胁迫下 POD、SOD 和 CAT 活性增强,加快了对活性氧的清除,从而维持活性氧代谢平衡保护膜结构[15-16]。本试验表明,在轻度胁迫下,矮牵牛品种叶片的 MDA 含量上升幅度较小,主要是由轻度胁迫下矮牵牛品种的 POD、SOD 和 CAT 活性较高,有效的清除了植株体内的活性氧,维持了植物体内活性氧的产生与清除的动态平衡。但在中度和重度胁迫下,3 号品种丙二醛含量显著上升,保护酶的活性随之大幅度升高;相反抗性较差的 7 号品种丙二醛含量大幅度升高时保护酶活性上升幅度较小。干旱胁迫条件下,植物体内合成蛋白质保护植物不受损伤从而提高植物的抗旱能力。本试验中,随着干旱胁迫的加剧,可溶性蛋白含量呈上升趋势,表明各品种通过可溶性蛋白的积累,提高自身的抗旱能力,由于抗旱性存在差异,可溶性蛋白含量的涨幅不同,抗旱性强的品种增长幅度大。

植物的抗旱性是由多基因控制的复杂数量性状,涉及到植物形态及生理生化等各方面,以单一指标分析品种的抗旱能力不够准确。近年来多采用综合指标评价法,本研究采用隶属函数法对 8 个矮牵牛品种的抗旱性进行综合分析,得到较为准确全面的评价结果,抗旱性由强到弱依次为 3 号＞6 号＞4 号＞2 号＞5 号＞1 号＞8 号＞7 号。研究结果对不同品种矮牵牛在园林中的应用具有重要的实践指导意义。

参考文献:

[1]　武术杰.矮牵牛繁殖的研究进展[J].北方园艺,2007(5):175-177.

[2]　邱勇波,罗凤霞,白瑞琴,等.热胁迫下矮牵牛幼苗的形态和生理变化[J].河北农业大学学报,2008,31(1):88-31.
QIU Y B,LUO F X,BAI R Q,*et al*.Changes on morphological and physiological indexes of heat resistance in *Petuhia hybrids* Vilm [J].Journal of Hebei Agricultural University,2008,31(1):88-31.(in Chinese)

[3]　杨晓玲,郭金耀.矮牵牛耐盐的形态结构研究[J].北方园艺,2011,11(15):113-115.

[4]　宁露云,包满珠,张蔚.低温胁迫对矮牵牛 H 株系花青素、游离脯氨酸及可溶性糖含量的影响[J].湖北农业科学,2016,55(6):1500-1503.

[5]　范庆,吕秀军,杨柳,等.镉胁迫对矮牵牛种子萌发,幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J].植物研究,2010,30(6):685-691.

[6]　李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2004.

[7]　钱塘璜,雷江丽,庄雪影.3 种草本厥类植物耐旱性研究[J].西北林学院学报 2012,27(1):22-27.
QIAN T H,LEI J L,ZHUANG X Y.Anti-drought stress capacity of 3 herbal ferns[J].Journal of Northwest Forestry University,2012,27(1):22-27.(in Chinese)

[8]　LIU F.Biomass partitioning,specific leaf area,and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress[J].Scientia Horticulturae,2004,102(1):15-27.

[9]　任庆成,杨铁钊,刘培玉,等.物植抗旱性研究进展[J].中国农学通报,2009,25(15):76-79.

[10]　刘建宁,石永红,侯志宏,等.4 份菊苣种质材料苗期抗旱性评价[J].草业学报,2012,21(2):241-248.

(下转第 187 页)

所包含的树种和相关指标进行规范,为检测机构、工商、法院等部门提供依据。

参考文献:

[1] 李敏华,李桂兰,谭必明,等.黄连木与紫油木木材解剖特征比较研究[J].西北林学院学报,2012,27(5):189-193.
LI M H,LI G L,TAN B M,*et al*. Comparative anatomical characteristics of timber between *Pistacia chinensis* and *P. weinmannifolia*[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(5):189-193.(in Chinese)

[2] 成俊卿,杨家驹,刘鹏,等.中国木材志[M].北京:中国林业出版社,1992:352-752.

[3] 崔新婕,邱坚,杨燕.山楠普文楠木材解剖构造对比分析[J].西南林业大学学报,2015,35(3):107-110.
CUI X J,QIU J,YANG Y. Wood anatomical structure analysis of *Phoebe chinensis* and *Phoebe puwenensisa*[J]. Journal of Southwest Forestry University,2015,35(3):107-110.(in Chinese)

[4] 徐峰,刘红清,陈桂丹,等.木材比较鉴定图谱[M].北京:化学工业出版社,2016:1-357.

[5] 孙瑾,王晓静,王飞,等.滇西南地区17种樟科木材解剖特性研究[J].华南农业大学学报,2014,35(5):102-107.
SUN J,WANG X J,WANG F,*et al*. Wood anatomical characteristics of 17 Lauraceae species from Southwest of Yunnan[J]. Journal of South China Agricultural University,2014,35(5):102-107.(in Chinese)

[6] 徐峰,黄善忠,牟继平,等.热带亚热带优良珍贵木材彩色图鉴[M].南宁:广西科学技术出版社,2009:64.

[7] 郭喜良,冉俊祥,陈旭东,等.进口木材原色图谱[M].上海:上海科学技术出版社,2004:65.

[8] 方崇荣,骆嘉言.世界贸易木材原色图鉴[M].北京:中国林业出版社,2004:83.

[9] 刘鹏,杨家驹,卢鸿俊,等.东南亚热带木材[M].北京:中国林业出版社,1993:165.

[10] 海凌超,徐峰,刘吉利,等.红木与名贵硬木家具用材鉴赏[M].北京:化学工业出版社,2016:259-261.

[11] 江泽惠,彭镇华.世界主要树种木材科学特性[M].北京:科学出版社,2001:36.

[12] 陈瑞英,郭晶贞,祝田心.小果润楠和闽楠木材的构造特征[J].森林与环境学报,2015,35(4):358-363.
CHEN R Y,GUO J Z,ZHU T X. Structure characteristics of *Machilus microcarpa* and *Phoebe bournei*[J]. Journal of Forest and Environment,2015,35(4):358-363.(in Chinese)

[13] 徐峰,罗建举,陈旭东,等.木材鉴定图谱[M].北京:化学工业出版社,2008:1-392.

[14] 郭晶贞.基于结构特征的楠木属和润楠属五种木材的鉴别[D].福州:福建农林大学,2015.

[15] 赵泾峰,冯德君,吕智荣.韩城梁带村芮国M502墓葬出土木材研究[J].西北林学院学报,2012,27(1):238-240.
ZHAO J F,FENG D J,LV Z R. Identification of unearthed woods from Rui State Burial at Liangdai village[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(1):238-240.(in Chinese)

(上接第 69 页)

[11] 裴斌,张光灿,张淑勇,等.土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J].生态学报,2013,33(5):1386-1396.
PEI B,ZHANG G C,ZHANG S Y,*et al*. Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn seedings[J]. Acta Ecologica Sinica,2013,33(5):1386-1396.(in Chinese)

[12] 陈征,许嘉阳,范艺宽,等.不同烤烟品种幼苗形态结构及光合参数对干旱胁迫响应机制的差异[J].中国生态农业学报,2016,24(11):1508-1520.
CHEN Z,XU J Y,FAN Y K,*et al*. Response of morphological structure and photosynthetic parameters to water deficit in four flue-cured tobacco cultivar seedlings[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2016,24(11):1508-1520.(in Chinese)

[13] 井大炜,邢尚军,杜振宇,等.干旱胁迫对杨树幼苗生长,光合特性及活性氧代谢的影响[J].应用生态学报,2013(7):1809-1816.
JING D W,XING S J,DU Z Y,*et al*. Effects of drought stress on the growth,photosynthetic characteristics and active oxygen metabolism of poplar seedlings[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2013(7):1809-1816.(in Chinese)

[14] 曹弈磷,曾春菡,刘小波,等.PEG模拟干旱胁迫下4种苔鲜植物的生理指标变化及其耐旱性评价[J].西北林学院学报2014,29(4):33-39.
CAO Y L,ZENG C H,LIU X B,*et al*. Physiological and biochemical response and drought resistance evaluation of four wild bryophytes[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(4):33-39.(in Chinese)

[15] STEDUTO P,KATERJI N,PUERTOS-MOLINA H,*et al*. Water-use efficiency of sweet sorghum under water stress conditions:gas-exchange investigations at leaf and canopy scales[J]. Field Crops Research,1997,54(2/3):221-234.

[16] 张刚,魏典典,邬佳宝,等.干旱胁迫下不同种源文冠果幼苗的生理反应及其抗旱性分析[J].西北林学院学报,2014,29(1):1-7.
ZHANG G,WEI D D,WU J B,*et al*. Effects of drought stress on physiological characteristics of *Xathoceras sorbi folia* from different provenances and analysis on drought-resistance in seedling stage[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(1):1-7.(in Chinese)